

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-023120

(43)Date of publication of application : 23.01.2002

(51)Int.Cl.

G02F 1/03
G02F 1/035
H04B 10/152
H04B 10/142
H04B 10/04
H04B 10/06

(21)Application number : 2000-199898

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 30.06.2000

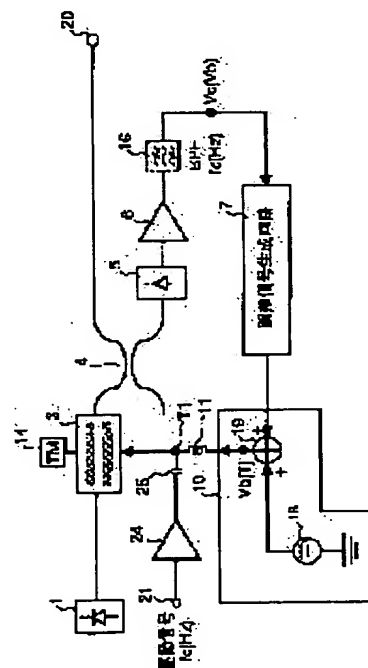
(72)Inventor : KAJIYA SATORU
ISHIDA KAZUYUKI
SHIMIZU KATSUHIRO
KOBAYASHI YUKIO

(54) OPTICAL TRANSMITTER, AND BIAS VOLTAGE CONTROL METHOD FOR OPTICAL MODULATOR USED THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily control a bias voltage even in ≥ 10 GHz band of a driving signal, and to prevent the quality of an optical output signal from being deteriorated due to deterioration in waveform.

SOLUTION: This optical transmitter is provided with a Mach-Zehnder type light modulator 3, a light source 1 for inputting an optical signal of continuous light to the Mach-Zehnder optical modulator 3, a driving circuit 24 for inputting a driving signal to the Mach-Zehnder optical modulator 3, a demultiplexer 4 for taking out a part of the output optical signal, a photodiode 5 for converting the taken-out output optical signal into an electric signal, a band-pass filter 16 for extracting the frequency components of the driving signal contained in this electric signal, an error signal generating circuit 7 for generating an error signal of a bias voltage minimizing a value of the taken-out frequency components, and a bias voltage control circuit 10 for applying a bias voltage summed with this error signal to the Mach-Zehnder optical modulator 3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

13.01.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-23120

(P 2 0 0 2 - 2 3 1 2 0 A)

(43) 公開日 平成14年1月23日 (2002.1.23)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G02F 1/03	502	G02F 1/03	2H079
1/035		1/035	5K002
H04B 10/152		H04B 9/00	L
10/142			
10/04			

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全16頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2000-199898 (P 2000-199898)	(71) 出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(22) 出願日	平成12年6月30日 (2000.6.30)	(72) 発明者	加治屋 哲 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内
		(72) 発明者	石田 和行 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内
		(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明

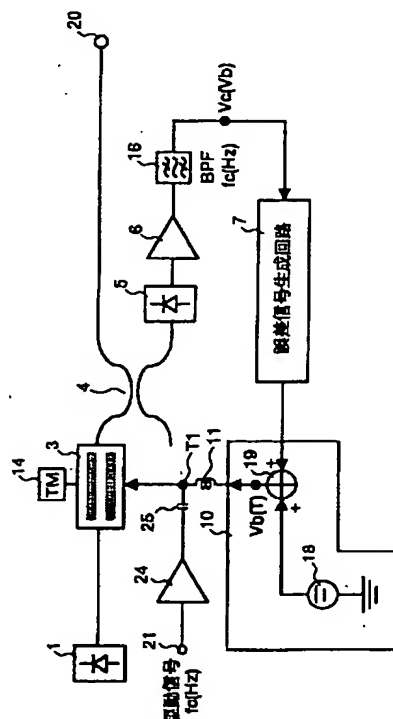
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光送信装置およびこれに用いる光変調器のバイアス電圧制御方法

(57) 【要約】

【課題】 駆動信号の帯域が10GHz以上となっても、容易にバイアス電圧制御が行え、波形劣化による出力光信号の品質劣化を防止すること。

【解決手段】 マッハツェンダ型光変調器3と、マッハツェンダ型光変調器3に連続光の光信号を入力する光源1と、マッハツェンダ型光変調器3に駆動信号を入力する駆動回路24と、出力光信号の一部を取り出す分波器4と、取り出された出力光信号を電気信号に変換するフォトダイオード5と、この電気信号内に含まれる駆動信号の周波数成分を抽出するバンドパスフィルタ16と、抽出した周波数成分の値が最小となるバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成回路7と、この誤差信号をバイアス電圧に加算したバイアス電圧をマッハツェンダ型光変調器3に印加するバイアス電圧制御回路10とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 駆動信号の 2 倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置において、マッハツェンダ型の変調器と、前記変調器に光信号を入力する光源と、前記変調器に前記駆動信号を入力する駆動手段と、前記変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換手段と、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の周波数成分を抽出する抽出手段と、前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の周波数成分の値を最小にするバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成手段と、前記バイアス電圧の誤差信号を加算したバイアス電圧を前記変調器に印加するバイアス電圧制御手段と、を備えたことを特徴とする光送信装置。

【請求項 2】 駆動信号の 2 倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置において、マッハツェンダ型の変調器と、前記変調器に光信号を入力する光源と、前記変調器に前記駆動信号を入力する駆動手段と、前記変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換手段と、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の 2 倍の周波数成分を抽出する抽出手段と、前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の 2 倍の周波数成分の値を最大にするバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成手段と、前記バイアス電圧の誤差信号を加算したバイアス電圧を前記変調器に印加するバイアス電圧制御手段と、を備えたことを特徴とする光送信装置。

【請求項 3】 前記光源は、前記駆動信号に同期し、該駆動信号の 2 倍のビットレートをもつ変調された光パルス列を生成し、該光パルス列を前記変調器に入力し、前記変調器は、前記駆動信号によって前記光パルス列をパルス変調出力することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光送信装置。

【請求項 4】 前記光源は、複数の異なる単一波長光源を備え、前記変換手段の前段に設けられ、前記変調器から出力された光信号を構成する複数の異なる単一波長光源の波長光のうちのいずれか一つの波長光を透過させる光フィルタをさらに備えたことを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一つに記載の光送信装置。

【請求項 5】 前記誤差信号生成手段および前記バイアス電圧制御手段に入力するディザ信号を発生するディザ信号発生手段をさらに備え、前記誤差信号生成手段は、前記抽出手段が抽出した駆動信号の周波数成分あるいは駆動信号の 2 倍の周波数成分

にディザ信号を乗算して同期検波を行い、この同期検波結果を前記バイアス電圧の誤差信号として前記バイアス電圧制御手段に出力し、

前記バイアス電圧制御手段は、前記バイアス電圧および前記ディザ信号に前記バイアス電圧の誤差信号を重畳した信号を前記変調器に印加することを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一つに記載の光送信装置。

【請求項 6】 マッハツェンダ型の変調器に光信号を入力するとともに、駆動信号およびバイアス電圧を印加し、該駆動信号の 2 倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置に用いる変調器のバイアス電圧制御方法において、

前記変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換工程と、

前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の周波数成分を抽出する抽出工程と、

前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の周波数成分の値を最小にするバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成工程と、

前記誤差信号生成工程によって生成された誤差信号を加算したバイアス電圧を前記変調器に印加するバイアス電圧制御工程と、

を含むことを特徴とする光送信装置に用いる変調器のバイアス電圧制御方法。

【請求項 7】 マッハツェンダ型の変調器に光信号を入力するとともに、駆動信号およびバイアス電圧を印加し、該駆動信号の 2 倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置に用いる変調器のバイアス電圧制御方法において、

前記変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換工程と、

前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の 2 倍の周波数成分を抽出する抽出工程と、

前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の 2 倍の周波数成分の値を最大にするバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成工程と、

前記誤差信号生成工程によって生成された誤差信号を加算したバイアス電圧を前記変調器に印加するバイアス電圧制御工程と、

を含むことを特徴とする光送信装置に用いる変調器のバイアス電圧制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、光通信システムに用いられる外部変調方式の光送信装置およびこれに用いる変調器のバイアス電圧制御方法に関し、特に、マッハツェンダ型の変調器を用いた光送信装置およびこれに用いる変調器のバイアス電圧制御方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来から、光通信システムでは、レーザダイオードに対する駆動電流によって光変調信号を生成し、駆動電流である電気信号に比例した光の強度信号を得る直接変調方式が用いられていた。しかし、伝送速度が数 Gbit/s を超える超高速・広帯域光通信システムでは、直接変調時において光の波長が変化するチャープピングが発生し、このチャープピングが伝送容量を制限する。

【0003】一方、外部変調方式は、チャープピングの発

$$I(t) = k \{1 + \cos(\beta \cdot S(t) + \delta)\} \quad \cdots (1)$$

である。ここで、「 k 」は、比例係数であり、「 β 」は、変調度であり、「 δ 」は、マッハツェンダ型光変調器の動作点の位相である。

【0005】変調信号 $S(t)$ を 2 値のデジタル信号とし、変調度 β を $\beta = \pi$ とし、適切な DC 電圧（バイアス電圧）をマッハツェンダ型光変調器に印加して初期の位相 δ を $\delta = \pi/2$ とすると、マッハツェンダ型光変調

$$I(t) = k \{1 + \cos(2\pi \cdot \sin(2\pi f_c(t)))\} \quad \cdots (2)$$

である。したがって、式 (2) が示す出力光信号 I

(t) は、繰り返し周波数 f_c の 2 倍の繰り返し周波数 $2f_c$ でオン／オフする光信号として出力される。

【0007】ここで、位相 δ の値が一定であれば、問題ないが、通常のリチウムナイオベイトを用いた光変調器では、その動作点がドリフトしてしまうという問題点がある。このドリフトには、温度変化がもたらす焦電効果による熱ドリフトと、光変調器の電極に印加したバイアス電圧が光変調器の素子表面上に形成する電荷分布によって生起する DC ドリフトとの 2 つのドリフトがある。これらのドリフトによる動作点変動を補償するには、最適な動作点となるようにバイアス電圧を光変調器に印加する必要がある。

【0008】図 12 は、このリチウムナイオベイトを用いた光変調器に印加されるバイアス電圧を安定化させることができる従来の光送信装置の構成を示すブロック図である（特開平 5-142504 号公報参照）。図 12 において、光源 101 から出射された連続光は、リチウムナイオベイトを用いたマッハツェンダ型光変調器 103 に入力される。マッハツェンダ型光変調器 103 には、終端器 114 が接続されるとともに、接続点 T1 を介してマッハツェンダ型光変調器 103 を駆動する駆動信号およびバイアス電圧が印加される。

【0009】マッハツェンダ型光変調器 103 によって変調された出力光信号は、分波器 104 を介して出力端 120 に出力されるとともに、一部の出力光信号は、フォトダイオード 105 に入力される。フォトダイオード 105 は、入力された一部の出力光信号を電気信号に変換し、プリアンプ 106 によって、この電気信号を増幅し、同期検波回路 107 に出力する。

【0010】同期検波回路 107 は、プリアンプ 106 から入力された電気信号とディザ信号発生器 112 から

生が少なく、10GHz 以上の動作帯域であっても、比較的簡単に変調することができ、超高速・広帯域の大容量光通信システムに適用されつつある。外部変調器として最も一般的な光変調器は、リチウムナイオベイト (LiNbO₃: Lithium Niobate) を用いたマッハツェンダ (Mach-Zehnder) 型光変調器である。

【0004】このマッハツェンダ型光変調器を用いて、変調信号 $S(t)$ で変調した出力光信号 $I(t)$ は、次式 (1) で表される。すなわち、

器は、変調信号 $S(t)$ に比例してオン／オフする出力光信号 $I(t)$ を出力する。

【0006】ここで、変調度 β を $\beta = 2\pi$ とし、適切なバイアス電圧をマッハツェンダ型光変調器に印加して初期の位相 δ を $\delta = 0$ とし、さらに変調信号 $S(t)$ として、繰り返し周波数 f_c の正弦波を入力すると、出力光信号 $I(t)$ は、次式 (2) で表される。すなわち、

出力された低周波信号との同期検波を行う。同期検波回路 107 は、ミキサ 117 を有し、プリアンプ 106 から入力された電気信号とディザ信号発生器 112 から出力された低周波信号とをミキシングする。ミキシングされた信号は、演算増幅器 108 を介して低域透過フィルタ 109 に入力され、低域透過された信号は、バイアス電圧制御回路 110 に出力される。

【0011】バイアス電圧制御回路 110 は、DC 電源 118 と加算器 119 とを有し、加算器 119 は、同期検波回路 107 から出力された信号と、DC 電源 118 から出力されたバイアス電圧を加算し、インダクタ 111 を介して、接続点 T1 からマッハツェンダ型光変調器 103 にバイアス電圧として出力する。一方、駆動信号は、入力端 121 から入力され、駆動回路 124 を介して低周波重畳回路 113 に出力する。低周波重畳回路 113 は、入力された駆動信号とディザ信号発生器 112 から出力された低周波信号とを重畳し、コンデンサを介し、接続点 T1 からマッハツェンダ型光変調器 103 に駆動信号として印加する。したがって、接続点 T1 からは、ともに低周波信号が重畳された駆動信号、およびバイアス電圧制御されたバイアス電圧がマッハツェンダ型光変調器 103 に印加されることになる。

【0012】ここで、図 13～図 15 を参照して、従来の光送信装置によるマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧制御方法について説明する。図 13 は、バイアス電圧（位相 δ ）が適正な値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器 103 による変調動作を説明する図である。図 13 において、マッハツェンダ型光変調器 103 の動作特性曲線 130 は、式 (1) で示した動作特性曲線を示し、バイアス電圧（位相 δ ）が適正に設定された状態を示している。この場合、マッハツェンダ型光変調器 103 に、低周波信号が重畳された駆動信号（入力

信号) 131が入力されると、駆動信号131は、動作特性曲線130によって変調され、出力光信号132として出力される。この出力光信号132には、駆動信号に重畳された低周波信号の低周波成分(f [Hz])が含まれておらず、低周波成分(f [Hz])の2倍の低周波成分($2f$ [Hz])が発生している。したがって、出力光信号132の一部をフォトダイオード105で受光し、さらにプリアンプ106で増幅した後、同期検波回路107によって同期検波した信号の出力は、「0」となる。この場合、バイアス電圧制御回路110

10 の加算器119において加算される信号成分はないため、現在のバイアス電圧がそのまま維持され、マッハツェンダ型光変調器103に印加される。

【0013】一方、図14は、バイアス電圧が適正な値に比してやや高い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器103による変調動作を説明する図である。図14において、マッハツェンダ型光変調器103の動作特性曲線140は、バイアス電圧が適正な値に比してやや高い値に設定された状態を示している。この場合、マッハツェンダ型光変調器103に、低周波信号が重畳された駆動信号131と同じ駆動信号141がマッハツェンダ型光変調器103に入力されると、駆動信号141は、動作特性曲線140によって変調され、出力光信号142として出力される。この出力光信号142は、駆動信号に重畳された低周波信号の低周波成分(f [Hz])が含まれ、この低周波成分(f [Hz])の位相は、駆動信号に重畳された低周波成分(f [Hz])の位相に対して反転している。したがって、同期検波回路107は、低周波成分(f [Hz])を同期検波するとともに、その出力を「負」電圧としてバイアス電圧制御回路110に出力する。この場合、バイアス電圧制御回路110の加算器119は、DC電源118から出力されるバイアス電圧に負の電圧を加算し、現在のバイアス電圧を小さくし、適正なバイアス電圧の値に近づける制御を行う。

【0014】また、図15は、バイアス電圧が適正な値に比してやや低い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器103による変調動作を説明する図である。図15において、マッハツェンダ型光変調器103の動作特性曲線150は、バイアス電圧が適正な値に比してやや低い値に設定された状態を示している。この場合、マッハツェンダ型光変調器103に、低周波信号が重畳された駆動信号131と同じ駆動信号151がマッハツェンダ型光変調器103に入力されると、駆動信号151は、動作特性曲線150によって変調され、出力光信号152として出力される。この出力光信号152は、駆動信号に重畳された低周波信号の低周波成分(f [Hz])が含まれ、この低周波成分(f [Hz])の位相は、駆動信号に重畳された低周波成分(f [Hz])の位相に一致している。したがって、同期検波回路107

は、低周波成分(f [Hz])を同期検波するとともに、その出力を「正」電圧としてバイアス電圧制御回路110に出力する。この場合、バイアス電圧制御回路110の加算器119は、DC電源118から出力されるバイアス電圧に正の電圧を加算し、現在のバイアス電圧を大きくし、適正なバイアス電圧の値に近づける制御を行う。

【0015】このようにして、従来の光送信装置のマッハツェンダ型光変調器に印加されるバイアス電圧制御では、マッハツェンダ型光変調器103から出力される出力光信号の一部を検出し、バイアス電圧の最適動作点からのずれに対応した誤差信号を同期検波回路107が生成し、バイアス電圧制御回路110が、この誤差信号が小さくなるようにバイアス電圧を制御し、安定したバイアス電圧を維持するようにしている。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した従来の光送信装置のマッハツェンダ型光変調器103に印加されるバイアス電圧制御では、駆動信号に低周波信号を重畳するようにしているが、この低周波信号を駆動信号に重畳する低周波重畳回路113は、図示しない電圧制御アッテネータや電圧制御可変利得増幅器などのデバイスを用いているため、駆動信号の帯域が10GHz以上になると、これらのデバイスの動作帯域が不足し、マッハツェンダ型光変調器103に印加すべき駆動信号に波形歪みが発生することによって、出力光信号の品質劣化が生ずるという問題点があった。

【0017】また、駆動回路124も、駆動信号の帯域が20GHz以上になると、駆動回路124の動作帯域が不足し、駆動信号に波形歪みを発生させ、これによって出力光信号の品質劣化が生ずるという問題点があった。

【0018】なお、従来の光送信装置は、駆動信号の繰り返し周波数 f_c に比例した出力光信号を得るものであったが、駆動信号の繰り返し周波数 f_c の2倍の繰り返し周波数 $2f_c$ をもつ出力光信号を出力する光送信装置であっても、マッハツェンダ型光変調器におけるバイアス電圧の安定化制御ができることが要望されている。

【0019】この発明は上記に鑑みてなされたもので、出力信号光の繰り返し周波数 $2f_c$ に対し、駆動信号の繰り返し周波数は f_c で良く、容易にバイアス電圧の安定化制御を行うことができる光送信装置およびこれに用いる光変調器のバイアス電圧制御方法を得ることを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明にかかる光送信装置は、駆動信号の2倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置において、マッハツェンダ型の光変調器と、前記光変調器に光信号を入力する光源と、前記光変調器に前記駆動信号

を入力する駆動手段と、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換手段と、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の周波数成分を抽出する抽出手段と、前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の周波数成分の値を最小にするバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成手段と、前記バイアス電圧の誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するバイアス電圧制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0021】この発明によれば、駆動手段が、マッハツェンダ型の前記光変調器に駆動信号を入力し、光源から入力される光信号を変調出力し、変換手段が、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出手段が、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の周波数成分を抽出し、誤差信号生成手段が、前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の周波数成分の値を最小にするバイアス電圧の誤差信号を生成し、バイアス電圧制御手段が、前記バイアス電圧の誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するフィードバック制御を行うようにしている。

【0022】つぎの発明にかかる光送信装置は、駆動信号の2倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置において、マッハツェンダ型の光変調器と、前記光変調器に光信号を入力する光源と、前記光変調器に前記駆動信号を入力する駆動手段と、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換手段と、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の2倍の周波数成分を抽出する抽出手段と、前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の2倍の周波数成分の値を最大にするバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成手段と、前記バイアス電圧の誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するバイアス電圧制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0023】この発明によれば、駆動手段が、マッハツェンダ型の前記光変調器に駆動信号を入力し、光源から入力される光信号を変調出力し、変換手段が、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出手段が、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の2倍の周波数成分を抽出し、誤差信号生成手段が、前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の2倍の周波数成分の値を最大にするバイアス電圧の誤差信号を生成し、バイアス電圧制御手段が、前記バイアス電圧の誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するフィードバック制御を行うようにしている。

【0024】つぎの発明にかかる光送信装置は、上記の発明において、前記光源は、前記駆動信号に同期し、該駆動信号の2倍のビットレートを持ち、変調された光パ

ルスを生成し、該光パルスを前記光変調器に入力し、前記光変調器は、前記駆動信号によって前記光パルスをパルス変調出力することを特徴とする。

【0025】この発明によれば、前記光源が、前記駆動信号に同期し、該駆動信号の2倍のビットレートを持ち、変調された光パルスを生成し、該光パルスを前記光変調器に入力し、前記光変調器が、前記駆動信号によって前記光パルスをパルス変調出力するようにしている。

【0026】つぎの発明にかかる光送信装置は、上記の発明において、前記光源は、複数の異なる単一波長光源を備え、前記変換手段の前段に設けられ、前記光変調器から出力された光信号を構成する複数の異なる単一波長光源の波長光のうちのいずれか一つの波長光を透過させる光フィルタをさらに備えたことを特徴とする。

【0027】この発明によれば、光フィルタが、前記光変調器から出力された光信号を構成する複数の異なる単一波長光源の波長光のうちのいずれか一つの波長光を透過させ、抽出手段が、この透過した波長光内の駆動信号の周波数成分あるいは2倍の周波数成分を抽出し、誤差信号生成手段がバイアス電圧の誤差信号を生成して、バイアス電圧制御を行うようにしている。

【0028】つぎの発明にかかる光送信装置は、上記の発明において、前記誤差信号生成手段および前記バイアス電圧制御手段に入力するディザ信号を発生するディザ信号発生手段をさらに備え、前記誤差信号生成手段は、前記抽出手段が抽出した駆動信号の周波数成分あるいは駆動信号の2倍の周波数成分にディザ信号を乗算して同期検波を行い、この同期検波結果を前記バイアス電圧の誤差信号として前記バイアス電圧制御手段に出力し、前記バイアス電圧制御手段は、前記バイアス電圧および前記ディザ信号に前記バイアス電圧の誤差信号を重畳した信号を前記変調器に印加することを特徴とする。

【0029】この発明によれば、前記誤差信号生成手段が、前記抽出手段が抽出した駆動信号の周波数成分あるいは駆動信号の2倍の周波数成分にディザ信号を乗算して同期検波を行い、この同期検波結果を前記バイアス電圧の誤差信号として前記バイアス電圧制御手段に出力し、前記バイアス電圧制御手段が、前記バイアス電圧および前記ディザ信号に前記バイアス電圧の誤差信号を重畳した信号を前記変調器に印加するようにしている。

【0030】つぎの発明にかかる光送信装置に用いる光変調器のバイアス電圧制御方法は、マッハツェンダ型の光変調器に光信号を入力するとともに、駆動信号およびバイアス電圧を印加し、該駆動信号の2倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置に用いる光変調器のバイアス電圧制御方法において、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換工程と、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の周波数成分を抽出する抽出工程と、前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の周

波数成分の値を最小にするバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成工程と、前記誤差信号生成工程によって生成された誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するバイアス電圧制御工程と、を含むことを特徴とする。

【0031】この発明によれば、変換工程によって、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出工程によって、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の周波数成分を抽出し、誤差信号生成工程によって、前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の周波数成分の値を最小にするバイアス電圧の誤差信号を生成し、バイアス電圧制御工程によって、前記誤差信号生成工程によって生成された誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するフィードバック制御を行うようにしている。

【0032】つぎの発明にかかる光送信装置に用いる光変調器のバイアス電圧制御方法は、マッハツェンダ型の光変調器に光信号を入力するとともに、駆動信号およびバイアス電圧を印加し、該駆動信号の2倍の周波数をもつ光パルス列を送信出力する光送信装置に用いる光変調器のバイアス電圧制御方法において、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換する変換工程と、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の2倍の周波数成分を抽出する抽出工程と、前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の2倍の周波数成分の値を最大にするバイアス電圧の誤差信号を生成する誤差信号生成工程と、前記誤差信号生成工程によって生成された誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するバイアス電圧制御工程と、を含むことを特徴とする。

【0033】この発明によれば、変換工程によって、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出工程によって、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の2倍の周波数成分を抽出し、誤差信号生成工程によって、前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の2倍の周波数成分の値を最大にするバイアス電圧の誤差信号を生成し、バイアス電圧制御工程によって、前記誤差信号生成工程によって生成された誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するフィードバック制御を行うようにしている。

【0034】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、この発明にかかる光送信装置およびこれに用いる光変調器のバイアス電圧制御方法の好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0035】実施の形態1. 図1は、この発明の実施の形態1である光送信装置の構成を示すブロック図である。図1において、光源1から出射された連続光は、リチウムナイオベイトを用いたマッハツェンダ型光変調器

3に入力される。マッハツェンダ型光変調器3には、終端器14が接続されるとともに、接続点T1を介してマッハツェンダ型光変調器3を駆動する駆動信号(f_c [Hz])およびバイアス電圧が印加される。

【0036】マッハツェンダ型光変調器3によって変調された出力光信号は、分波器4を介して出力端20に出力されるとともに、一部の出力光信号は、フォトダイオード5に入力される。フォトダイオード5は、入力された一部の出力光信号を電気信号に変換し、プリアンプ6に入力する。プリアンプ6は、この電気信号を増幅し、バンドパスフィルタ16に入力する。バンドパスフィルタ16は、入力された電気信号に含まれる周波数 f_c 成分を選択的に透過させ、誤差信号生成回路7に出力する。誤差信号生成回路7は、バンドパスフィルタ16を透過した周波数 f_c 成分のレベルを検出し、この検出値をもとに、バイアス電圧の誤差を示す誤差信号を生成し、バイアス電圧制御回路10に出力する。

【0037】バイアス電圧制御回路10は、DC電源18と加算器19とを有し、加算器19は、誤差信号生成回路7から出力された信号と、DC電源18から出力された誤差信号を加算し、インダクタ11を介して、接続点T1からマッハツェンダ型光変調器3にバイアス電圧として出力する。一方、駆動信号は、入力端21から入力され、駆動回路24およびコンデンサ25を介し、接続点T1からマッハツェンダ型光変調器3に駆動信号として印加する。したがって、接続点T1からは、周波数 f_c 成分の駆動信号、およびバイアス電圧制御されたバイアス電圧がマッハツェンダ型光変調器3に印加されることになる。なお、フォトダイオード5は、周波数 f_c 成分を受光でき、プリアンプ6は、周波数 f_c 成分を増幅できる十分な帯域を持つことが望ましい。

【0038】ここで、図2～図4を参照して、図1に示した光送信装置によるマッハツェンダ型光変調器3のバイアス電圧制御について説明する。図2は、バイアス電圧(位相 δ)が適正な値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器3による変調動作を説明する図である。なお、図2(a)は、マッハツェンダ型光変調器3に入力された駆動信号と出力光信号との関係を示し、図2(b)は、フォトダイオード5が検出した出力光信号のスペクトル分布を示す図である。

【0039】図2において、マッハツェンダ型光変調器3の動作特性曲線20aは、式(1)で示した動作特性曲線を示し、バイアス電圧(位相 δ)が適正に設定された状態を示している。この場合、式(2)に対応し、変調度 β を $\beta = 2\pi$ とし、初期の位相 δ を $\delta = 0$ に設定され、マッハツェンダ型光変調器3は、繰り返し周波数 f_c [Hz]の駆動信号20bによって、繰り返し周波数 f_c [Hz]の2倍の繰り返し周波数 $2f_c$ [Hz]をもつ出力光信号20cとして出力する。

【0040】分波器4は、一部の出力光信号20cを分

岐し、フォトダイオード5に出力する。フォトダイオードによって検出され、電気信号に変換された信号は、プリアンプ6に入力される。プリアンプ6によって増幅された信号は、バンドパスフィルタ16に入力される。バンドパスフィルタ16は、出力光信号20c内に含まれる駆動信号20bに対応した繰り返し周波数 f_c 成分のみを透過させ、誤差信号生成回路7に出力する。

【0041】ここで、図2(b)に示すように、出力光信号のスペクトルには、周波数 f_c 成分が含まれず、周波数 $2f_c$ 成分のみが含まれる。この結果、バンドパスフィルタ16から出力される信号の値は、「0」となる。ここで、誤差信号生成回路7は、バンドパスフィルタ16の信号の値をもとに、誤差信号を生成するが、この値が「0」であるため、誤差信号生成回路7から出力される誤差信号の値も、「0」となる。この結果、バイアス電圧制御回路10は、現在のバイアス電圧を維持したバイアス電圧を、インダクタ11および接続点T1を介してマッハツェンダ型光変調器3に印加する。

【0042】これに対し、図3は、マッハツェンダ型光変調器3に印加されるバイアス電圧が適正な値に比してやや高い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器3による変調動作を説明する図である。なお、図3

(a)は、マッハツェンダ型光変調器3に入力された駆動信号と出力光信号との関係を示し、図3(b)は、フォトダイオード5が検出した出力光信号のスペクトル分布を示す図である。図3(a)に示したマッハツェンダ型光変調器3の動作特性曲線21aは、図2(a)に示した動作特性曲線20aに比して、バイアス電圧がやや高い値に設定された状態となっている。

【0043】分波器4は、一部の出力光信号21cを分岐し、フォトダイオード5に出力する。フォトダイオードによって検出され、電気信号に変換された信号は、プリアンプ6に入力される。プリアンプ6によって増幅された信号は、バンドパスフィルタ16に入力される。バンドパスフィルタ16は、出力光信号21c内に含まれる駆動信号21bに対応した繰り返し周波数 f_c 成分のみを透過させ、誤差信号生成回路7に出力する。

【0044】ここで、図3(b)に示すように、出力光信号のスペクトルには、周波数 f_c 成分が含まれ、周波数 $2f_c$ 成分も含まれる。この結果、バンドパスフィルタ16からは、周波数 f_c 成分の値が誤差信号生成回路7に出力される。ここで、誤差信号生成回路7は、バンドパスフィルタ16の信号の値に対応した誤差信号を生成し、バイアス電圧制御回路10の加算器19に出力する。加算器19は、DC電源18から入力されるバイアス電圧に、誤差信号を加算し、この加算したバイアス電圧を、インダクタ11および接続点T1を介してマッハツェンダ型光変調器3に印加する。これによって、マッハツェンダ型光変調器3の動作点が最適動作点に近づく。

【0045】これに対し、図4は、マッハツェンダ型光変調器3に印加されるバイアス電圧が適正な値に比してやや低い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器3による変調動作を説明する図である。なお、図4

(a)は、マッハツェンダ型光変調器3に入力された駆動信号と出力光信号との関係を示し、図4(b)は、フォトダイオード5が検出した出力光信号のスペクトル分布を示す図である。図4に示したマッハツェンダ型光変調器3の動作特性曲線22aは、図2に示した動作特性曲線20aに比して、バイアス電圧がやや低い値に設定された状態となっている。

【0046】分波器4は、一部の出力光信号22cを分岐し、フォトダイオード5に出力する。フォトダイオードによって検出され、電気信号に変換された信号は、プリアンプ6に入力される。プリアンプ6によって増幅された信号は、バンドパスフィルタ16に入力される。バンドパスフィルタ16は、出力光信号22c内に含まれる駆動信号22bに対応した繰り返し周波数 f_c 成分のみを透過させ、誤差信号生成回路7に出力する。

【0047】ここで、図4(b)に示すように、出力光信号のスペクトルには、周波数 f_c 成分が含まれ、周波数 $2f_c$ 成分も含まれる。この結果、バンドパスフィルタ16からは、周波数 f_c 成分の値が誤差信号生成回路7に出力される。ここで、誤差信号生成回路7は、バンドパスフィルタ16の信号の値に対応した誤差信号を生成し、バイアス電圧制御回路10の加算器19に出力する。加算器19は、DC電源18から入力されるバイアス電圧に、誤差信号を加算し、この加算したバイアス電圧を、インダクタ11および接続点T1を介してマッハツェンダ型光変調器3に印加する。これによって、マッハツェンダ型光変調器3の動作点が最適動作点に近づく。

【0048】ここで、誤差信号生成回路7の構成および処理について説明する。図5は、図1に示した誤差信号生成回路7の構成を示すブロック図である。図5において、レベル検出器7aは、バンドパスフィルタ16から入力された周波数 f_c 成分のレベルを検出し、CPU7bに出力する。CPU7bは、レベル検出器7aによるレベル検出結果をもとに誤差信号を生成し、D/A変換器7cに出力する。D/A変換器7cは、CPU7bから出力されたデジタルの誤差信号を、アナログの誤差信号に変換し、バイアス電圧制御回路10の加算器19に誤差信号として出力する。

【0049】図6は、誤差信号生成回路7による誤差信号生成処理手順を示すフローチャートである。図6において、CPU7bは、バイアス電圧制御回路10が出力するバイアス電圧 V_b (T)をバイアス電圧 V_b として設定し、誤差信号を「0」として出力する(ステップS101)。その後、レベル検出器7aは、バイアス電圧 V_b 印加時におけるレベル値 V_c (V_b)を測定する

(ステップ S102)。

【0050】その後、バイアス電圧 $V_b(T)$ を、 $+ \Delta V$ 変化させたバイアス電圧 $V_b(T) = V_b + \Delta V$ に設定し、「 $+ \Delta V$ 」を誤差信号として出力する(ステップ S103)。その後、バイアス電圧 $V_b(T) = V_b + \Delta V$ 印加時におけるレベル値 $V_c(V_b + \Delta V)$ を測定する(ステップ S104)。

【0051】そして、レベル値 $V_c(V_b)$ がレベル値 $V_c(V_b + \Delta V)$ に比して大きいかな否かを判断し(ステップ S105)、レベル値 V_c が大きい場合(ステップ S105, YES)には、バイアス電圧 V_b をバイアス電圧 $(V_b + \Delta V)$ に設定し、「 $+ \Delta V$ 」を誤差信号として、バイアス電圧制御回路 10 に出力し(ステップ S106)、ステップ S101 に移行する。

【0052】一方、レベル値 V_c がレベル値 $V_c(V_b + \Delta V)$ に比して大きくない場合(ステップ S105, NO)には、バイアス電圧 $V_b(T)$ を、 $- \Delta V$ 変化させるバイアス電圧 $V_b(T) = V_b - \Delta V$ に設定し、「 $- \Delta V$ 」を誤差信号として出力する(ステップ S107)。その後、バイアス電圧 $V_b(T) = V_b - \Delta V$ 印加時におけるレベル値 $V_c(V_b - \Delta V)$ を測定する(ステップ S108)。

【0053】そして、レベル値 $V_c(V_b)$ がレベル値 $V_c(V_b - \Delta V)$ に比して大きいかな否かを判断し(ステップ S109)、レベル値 V_c が大きい場合(ステップ S109, YES)には、バイアス電圧 V_b をバイアス電圧 $(V_b - \Delta V)$ に設定し、「 $- \Delta V$ 」を誤差信号として、バイアス電圧制御回路 10 に出力し(ステップ S110)、ステップ S101 に移行する。一方、レベル値 V_c が大きくない場合(ステップ S109, NO)には、バイアス電圧 V_b をバイアス電圧 $V_b = V_b$ に設定し、「0」を誤差信号として、バイアス電圧制御回路 10 に出力し(ステップ S111)、ステップ S101 に移行する。このようなフィードバック制御によって、バイアス電圧 $V_b(T)$ を最適動作点に近づけることができる。すなわち、周波数 f_c 成分のレベル値を最小にすることで、バイアス電圧を最適動作点に近づけるようにしている。

【0054】なお、上述した実施の形態 1 では、接続点 T1 において、駆動信号とバイアス電圧とを合成し、この合成した信号をマッハツェンダ型光変調器 3 に印加するようにしているが、これに限らず、駆動信号とバイアス電圧とを異なる入力端から入力するマッハツェンダ型光変調器にも適用できる。

【0055】さらに、フォトダイオード 6 の前段に光フィルタをさらに設けるようにしてもよい。光源 1 から出力される光信号に不要な波長成分や雑音成分が含まれている場合、この光フィルタによって出力光信号成分の波長を選択的に透過させることができ、この結果、全体的に精度の高いバイアス電圧制御が可能になるからであ

る。

【0056】この実施の形態 1 によれば、マッハツェンダ型光変調器 3 の出力光信号をフォトダイオード 5 で検出して電気信号に変換し、バンドパスフィルタ 16 によって駆動信号の周波数 f_c 成分を抽出し、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点の誤差信号を生成し、この誤差信号をバイアス電圧制御回路 10 を介してフィードバック制御するようにしているので、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点のドリフトによる出力光信号の品質劣化を抑圧することができ、しかも、安定した周波数 $2f_c$ の光パルス列を生成することができる。

【0057】実施の形態 2. つぎに、この発明の実施の形態 2 について説明する。上述した実施の形態 1 では、バンドパスフィルタ 16 が駆動信号の周波数 f_c 成分を抽出し、この周波数 f_c 成分が最小となるようにバイアス電圧制御を行っていたが、この実施の形態 2 では、バンドパスフィルタ 16 に代えて、駆動信号の周波数 f_c の 2 倍の周波数 $2f_c$ 成分を抽出するバンドパスフィルタ 26 を設け、このバンドパスフィルタ 26 が抽出する周波数 $2f_c$ 成分が最大となるようにバイアス電圧制御を行うようにしている。

【0058】図 7 は、この発明の実施の形態 2 である光送信装置の構成を示すブロック図である。図 7 において、バンドパスフィルタ 26 は、上述したように、駆動信号の周波数 f_c 成分の 2 倍の周波数 $2f_c$ 成分を透過させ、誤差信号生成回路 27 に出力する。誤差信号生成回路 27 は、周波数 $2f_c$ 成分のレベル値が最大となる誤差信号を生成する。その他の構成は、実施の形態 1 と同じであり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0059】ここで、図 8 に示すフローチャートを参照して、誤差信号生成回路 27 による誤差信号生成処理手順について説明する。図 7 において、誤差信号生成回路 27 は、バイアス電圧制御回路 10 が出力するバイアス電圧 $V_b(T)$ をバイアス電圧 V_b として設定し、誤差信号を「0」として出力する(ステップ S201)。その後、バイアス電圧 V_b 印加時における周波数 $2f_c$ 成分のレベル値 $V_{c2}(V_b)$ を測定する(ステップ S202)。

【0060】その後、バイアス電圧 $V_b(T)$ を、 $+ \Delta V$ 変化させたバイアス電圧 $V_b(T) = V_b + \Delta V$ に設定し、「 $+ \Delta V$ 」を誤差信号として出力する(ステップ S203)。その後、バイアス電圧 $V_b(T) = V_b + \Delta V$ 印加時における周波数 $2f_c$ 成分のレベル値 $V_{c2}(V_b + \Delta V)$ を測定する(ステップ S204)。

【0061】そして、レベル値 $V_{c2}(V_b)$ がレベル値 $V_{c2}(V_b + \Delta V)$ に比して小さいかな否かを判断し(ステップ S205)、レベル値 V_{c2} が小さい場合(ステップ S205, YES)には、バイアス電圧 V_b をバイアス電圧 $(V_b + \Delta V)$ に設定し、「 $+ \Delta V$ 」を誤差信号として、バイアス電圧制御回路 10 に出力し

(ステップ S206)、ステップ S201 に移行する。

【0062】一方、レベル値 V_{c2} がレベル値 V_{c2} ($V_b + \Delta V$) に比して小さくない場合 (ステップ S205, NO) には、バイアス電圧 $V_b(T)$ を、 $-\Delta V$ 変化させるバイアス電圧 $V_b(T) = V_b - \Delta V$ に設定し、「 $-\Delta V$ 」を誤差信号として出力する (ステップ S207)。その後、バイアス電圧 $V_b(T) = V_b - \Delta V$ 印加時における周波数 $2f_c$ 成分のレベル値 V_{c2} ($V_b - \Delta V$) を測定する (ステップ S208)。

【0063】そして、レベル値 V_{c2} (V_b) がレベル値 V_{c2} ($V_b - \Delta V$) に比して小さいか否かを判断し (ステップ S209)、レベル値 V_{c2} が小さい場合 (ステップ S209, YES) には、バイアス電圧 V_b をバイアス電圧 ($V_b - \Delta V$) に設定し、「 $-\Delta V$ 」を誤差信号として、バイアス電圧制御回路 10 に出力し (ステップ S210)、ステップ S201 に移行する。一方、レベル値 V_{c2} が小さくない場合 (ステップ S209, NO) には、バイアス電圧 V_b をバイアス電圧 $V_b = V_b$ に設定し、「0」を誤差信号として、バイアス電圧制御回路 10 に出力し (ステップ S211)、ステップ S201 に移行する。このようなフィードバック制御によって、バイアス電圧 $V_b(T)$ を最適動作点に近づけることができる。すなわち、周波数 $2f_c$ 成分のレベル値を最大にすることで、バイアス電圧を最適動作点に近づけるようにしている。

【0064】この実施の形態 2 によれば、マッハツェンダ型光変調器 3 の出力光信号をフォトダイオード 5 で検出して電気信号に変換し、バンドパスフィルタ 16 によって駆動信号の周波数 $2f_c$ 成分を抽出し、周波数 $2f_c$ 成分の値が最大となるように、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点の誤差信号を生成し、この誤差信号をバイアス電圧制御回路 10 を介してフィードバック制御するようにしているので、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点のドリフトによる出力光信号の品質劣化を抑圧することができ、しかも、安定した周波数 $2f_c$ の光パルス列を生成することができる。

【0065】実施の形態 3、つぎに、この発明の実施の形態 3 について説明する。上述した実施の形態 1、2 では、光源 1 が連続光を出力し、駆動信号によって、この連続光を変調するようにしていたが、この実施の形態 3 では、光源 1 が、駆動信号に同期した光パルスを出力し、駆動信号を用いてマッハツェンダ型光変調器 3 からパルス変調された光信号を出力できるようにしている。

【0066】図 9 は、この発明の実施の形態 3 である光送信装置の構成を示すブロック図である。図 9 において、光源 2 は、駆動信号 (周波数 f_c [Hz]) に同期した光パルスを出力するパルス光源であり、たとえば、駆動信号の繰り返し周波数 f_c の 2 倍のビットレートを有する光パルスを出力する。その他の構成は、実施の形態 1 と同じであり、同一構成部分には同一符号を付して

いる。

【0067】光源 2 は、たとえば、半導体レーザをゲインスイッチングして光パルスを出力する装置、ファイバ型光増幅器を用いたリング発振器、マッハツェンダ型光変調器によって連続光をパルス状に変調出力する装置などによって実現することができる。この場合、光源 2 から出力された光パルスは、マッハツェンダ型光変調器 3 によって変調されるため、出力端 20 から出力される出力光信号は、パルス変調された RZ 信号となる。したがって、分波器 4 を介してフォトダイオード 5 が検出する信号も、RZ 信号となる。バンドパスフィルタ 16 は、繰り返し周波数 f_c 成分を透過させ、この透過させた信号を誤差信号生成回路 7 に出力するようにしているので、実施の形態 1 と同様にして、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点を最適動作点に近づけるバイアス電圧制御を行うことができる。

【0068】この実施の形態 3 によれば、マッハツェンダ型光変調器 3 に入力される光信号が光パルスであっても、マッハツェンダ型光変調器 3 からの出力光信号内に駆動信号の繰り返し周波数 f_c 成分が含まれている限り、マッハツェンダ型光変調器 3 のバイアス電圧を最適動作点に制御することができるとともに、実施の形態 1 と同様に、変調光の信号帯域が 10 GHz 以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができる。

【0069】実施の形態 4、つぎに、この発明の実施の形態 4 について説明する。上述した実施の形態 1～3 では、いずれも、光源 1、2 が 1 つの単一波長光源であったが、この実施の形態 4 では、複数の単一波長光源をマッハツェンダ型光変調器 3 に入力し、各単一波長光源からの光信号を一括して変調出力するようにしている。

【0070】図 10 は、この発明の実施の形態 4 である光送信装置の構成を示すブロック図である。図 10 において、光源 31 は、実施の形態 1 に示した光源 1 に代えて設けられ、異なる 3 つの単一波長光源 31a～31c を有し、各単一波長光源 31a～31c からの光信号は、光カップラ 28 を介してマッハツェンダ型光変調器 3 に出力される。また、分波器 4 とフォトダイオード 5 との間に、光フィルタ 32 を設け、光フィルタ 32 は、単一波長光源 31a～31c のいずれかの波長を選択的に透過させる。その他の構成は、実施の形態 1 と同じであり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0071】マッハツェンダ型光変調器 3 に入力される各単一波長光源 31a～31c の光信号は、駆動信号によって一括変調される。光フィルタ 32 によって、1 つの単一波長光源 31a～31c の波長光を選択して、この選択した波長光に対する駆動信号の周波数 f_c 成分をバンドパスフィルタ 16 によって抽出することによって、各単一波長光源 31a～31c に対するバイアス電

圧制御を一括して行うことができる。なお、単一波長光源 31a ~ 31c が時間に応じてオン／オフする場合には、オンしている単一波長光源 31a ~ 31c の出力波長に会わせて光フィルタ 32 の透過波長を制御するようにすればよい。

【0072】この実施の形態 4 によれば、波長多重光を一括して変調出力する光送信装置の場合にも、各単一波長光源 31a ~ 31c が出力する波長光のいずれか 1 つの単一波長光を光フィルタ 32 によって選択的に透過させ、この透過させた信号における駆動信号の周波数 f_c 成分を抽出し、この周波数 f_c 成分が最小となるようにバイアス電圧制御を行うことによって、波長多重光を一括変調するマッハツェンダ型光変調器 3 のバイアス電圧を最適動作点に近づけることができ、実施の形態 1 と同様に、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができる。

【0073】実施の形態 5. つぎに、この発明の実施の形態 5 について説明する。上述した実施の形態 1 ~ 4 では、いずれも、駆動信号の周波数 f_c 成分あるいは周波数 $2f_c$ 成分を抽出し、このレベル値を最小あるいは最大とするフィードバック制御を行うことによって、マッハツェンダ型光変調器 3 の動作点を最適動作点に近づけるバイアス電圧制御を行うようにしていたが、この実施の形態 5 では、ディザ信号などの低周波信号をバイアス電圧に重畳し、同期検波を行うことによって、バイアス電圧制御を行うようにしている。

【0074】図 11 は、この発明の実施の形態 5 である光送信装置の構成を示すブロック図である。図 11 において、この光送信装置は、誤差信号生成回路 7 に代えて同期検波を行う誤差信号生成回路 37 を設けるとともに、ディザ信号発生器 12 をさらに設けている。ディザ信号発生器 12 から出力されるディザ信号は、誤差信号生成回路 37 およびバイアス電圧制御回路 10 に入力される。その他の構成は、実施の形態 1 と同じであり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0075】誤差信号生成回路 37 は、バンドパスフィルタ 16 から出力された周波数 f_c 成分の信号を増幅器 8a によって増幅し、この増幅した信号とディザ信号とをミキサ 17a によってミキシングし、同期検波を行う。このミキシングされた信号は、増幅器 8b によって増幅され、ローパスフィルタ 9 を介して低周波成分を誤差信号としてバイアス電圧制御回路 10 の加算器 19a に出力する。

【0076】バイアス電圧制御回路 10 の加算器 19a は、DC 電源 18 から出力されたバイアス電圧に誤差信号を加算するとともに、ディザ信号を重畳し、この重畳したバイアス電圧をインダクタ 11 および接続点 T1 を介して、マッハツェンダ型光増幅器 3 に出力する。

【0077】このように、誤差信号生成回路 37 では、バイアス電圧制御回路 10 から出力される周波数 f_c を

ディザ信号の周波数 f 成分を用いて同期検波し、この同期検波結果によって、マッハツェンダ型光変調器の最適動作点方向を含む誤差信号を自動生成するようにしている。

【0078】なお、増幅器 8a, 8b は、演算増幅器を用いて構成することができる。また、増幅器 8a は、リニアアンプによって実現することが好ましい。さらに、フォトダイオード 5 は、駆動信号の周波数 f_c 成分を受光でき、プリアンプ 6 は、駆動信号の周波数 f_c 成分を増幅できる十分な帯域を有することが望ましい。

【0079】また、加算器 19a に重畳されるディザ信号の振幅は、駆動信号の数%以下とすることによって、出力光信号の品質劣化は生じない。なお、誤差信号生成回路 37 内に、バンドパスフィルタ 16、およびリニアアンプによって実現した増幅器 8a を用いることによって、光源 1 から出力される光信号の強度変動の影響をなくした誤差信号を得ることができる。

【0080】この実施の形態 5 によれば、ディザ信号を重畳した駆動信号の周波数 f_c 成分を抽出し、この周波数 f_c 成分をディザ信号と同期検波するようにしているので、マッハツェンダ型光変調器 3 の最適動作点方向を含む誤差信号を生成することができ、実施の形態 1 と同様に、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができる。

【0081】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、駆動手段が、マッハツェンダ型の前記光変調器に駆動信号を入力し、光源から入力される光信号を変調出力し、変換手段が、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出手段が、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の周波数成分を抽出し、誤差信号生成手段が、前記抽出手段によって抽出された前記駆動信号の周波数成分の値を最小にするバイアス電圧の誤差信号を生成し、バイアス電圧制御手段が、前記バイアス電圧の誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するフィードバック制御を行うようにしているので、前記駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳する装置構成を設けなくても、バイアス電圧制御を行うことができ、しかも、変調光の信号帯域が 10GHz 以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【0082】つぎの発明によれば、駆動手段が、マッハツェンダ型の前記光変調器に駆動信号を入力し、光源から入力される光信号を変調出力し、変換手段が、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出手段が、前記変換手段によって変換された電気信号内に含まれる前記駆動信号の 2 倍の周波数成分を抽出し、誤差信号生成手段が、前記抽出手段によ

って抽出された前記駆動信号の2倍の周波数成分の値を最大にするバイアス電圧の誤差信号を生成し、バイアス電圧制御手段が、前記バイアス電圧の誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するフィードバック制御を行うようにしているので、前記駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳する装置構成を設けなくても、バイアス電圧制御を行うことができ、しかも、変調光の信号帯域が10GHz以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【0083】つぎの発明によれば、前記光源が、前記駆動信号に同期し、該駆動信号の2倍のビットレートをもち、変調された光パルスを生成し、該光パルスを前記光変調器に入力し、前記光変調器が、前記駆動信号によって前記光パルスをパルス変調出力するようにしているので、光変調器に入力される光信号が光パルスであっても、前記駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳する装置構成を設けずに、バイアス電圧制御を行うことができ、しかも、変調光の信号帯域が10GHz以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【0084】つぎの発明によれば、光フィルタが、前記光変調器から出力された光信号を構成する複数の異なる単一波長光源の波長光のうちのいずれか一つの波長光を透過させ、抽出手段が、この透過した波長光内の駆動信号の周波数成分あるいは2倍の周波数成分を抽出し、誤差信号生成手段がバイアス電圧の誤差信号を生成して、バイアス電圧制御を行うようにしているので、変調光の信号帯域が10GHz以上で、多重波長光に対する一括変調出力を行う場合であっても、変調器の動作点を最適動作点に制御することができるという効果を奏する。

【0085】つぎの発明によれば、前記誤差信号生成手段が、前記抽出手段が抽出した駆動信号の周波数成分あるいは駆動信号の2倍の周波数成分にディザ信号を乗算して同期検波を行い、この同期検波結果を前記バイアス電圧の誤差信号として前記バイアス電圧制御手段に出力し、前記バイアス電圧制御手段が、前記バイアス電圧および前記ディザ信号に前記バイアス電圧の誤差信号を重畳した信号を前記変調器に印加するようにしているので、バイアス電圧制御の方向を含む誤差信号の自動生成が可能となり、変調光の信号帯域が10GHz以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【0086】つぎの発明によれば、変換工程によって、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出工程によって、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の周波数成

分を抽出し、誤差信号生成工程によって、前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の周波数成分の値を最小にするバイアス電圧の誤差信号を生成し、バイアス電圧制御工程によって、前記誤差信号生成工程によって生成された誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するフィードバック制御を行うようにしているので、前記駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳する装置構成を設けなくても、バイアス電圧制御を行うことができ、しかも、変調光の信号帯域が10GHz以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【0087】つぎの発明によれば、変換工程によって、前記光変調器から出力された光信号の一部を取り出し、電気信号に変換し、抽出工程によって、前記変換工程によって変換された電気信号内の前記駆動信号の2倍の周波数成分を抽出し、誤差信号生成工程によって、前記抽出工程によって抽出された前記駆動信号の2倍の周波数成分の値を最大にするバイアス電圧の誤差信号を生成し、バイアス電圧制御工程によって、前記誤差信号生成工程によって生成された誤差信号を加算したバイアス電圧を前記光変調器に印加するフィードバック制御を行うようにしているので、前記駆動信号に、ディザ信号のような低周波信号を重畳する装置構成を設けなくても、バイアス電圧制御を行うことができ、しかも、変調光の信号帯域が10GHz以上になっても、バイアス電圧制御を容易に行うことができ、駆動信号の波形歪みによる出力光信号の品質劣化を抑止することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1である光送信装置の構成を示すブロック図である。

【図2】 図1に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図3】 図1に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値に比してやや高い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図4】 図1に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値に比してやや低い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図5】 図1に示した誤差信号生成回路の詳細構成を示すブロック図である。

【図6】 図1に示した誤差信号生成回路による誤差信号発生処理手順を示すフローチャートである。

【図7】 この発明の実施の形態2である光送信装置の構成を示すブロック図である。

【図8】 図7に示した誤差信号生成回路による誤差信

号発生処理手順を示すフローチャートである。

【図 9】 この発明の実施の形態 3 である光送信装置の構成を示すブロック図である。

【図 10】 この発明の実施の形態 4 である光送信装置の構成を示すブロック図である。

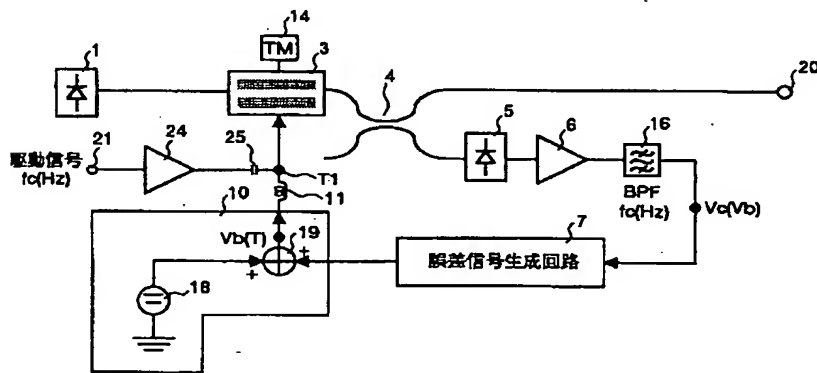
【図 11】 この発明の実施の形態 5 である光送信装置の構成を示すブロック図である。

【図 12】 従来の光送信装置の構成を示すブロック図である。

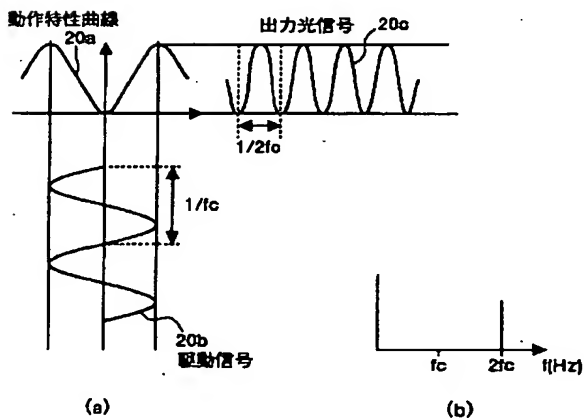
【図 13】 図 8 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図 14】 図 8 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値に比してやや高い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

【図 1】



【図 2】

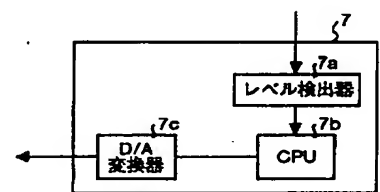


【図 15】 図 8 に示したマッハツェンダ型光変調器のバイアス電圧が適正な値に比してやや低い値である場合におけるマッハツェンダ型光変調器による変調動作を説明する図である。

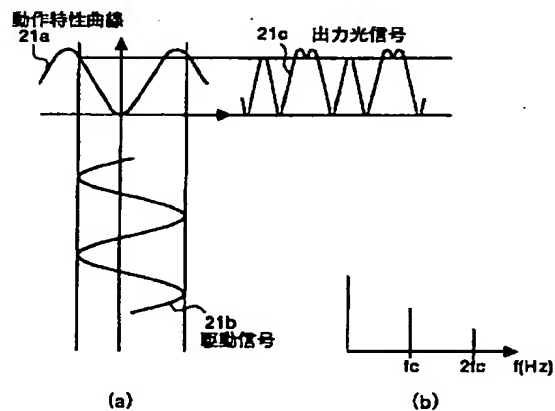
【符号の説明】

1, 2, 31 光源、3 マッハツェンダ型光変調器、4 分波器、5 フォトダイオード、6 プリアンプ、7, 27, 37 誤差信号生成回路、7a レベル検出器、7b CPU、7c D/A変換器、10 バイアス電圧制御回路、11 インダクタ、12 ディザ信号発生器、14 終端器、16, 26 バンドパスフィルタ、18 DC電源、19 加算器、20 出力端、21 入力端、24 駆動回路、25 コンデンサ、28 光カプラ、31a~31c 単一波長光源、32 光フィルタ、T1 接続点。

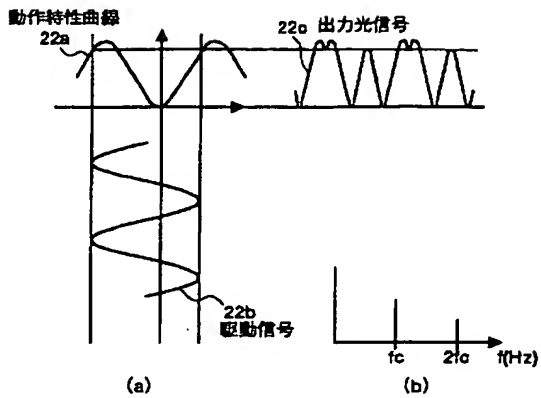
【図 5】



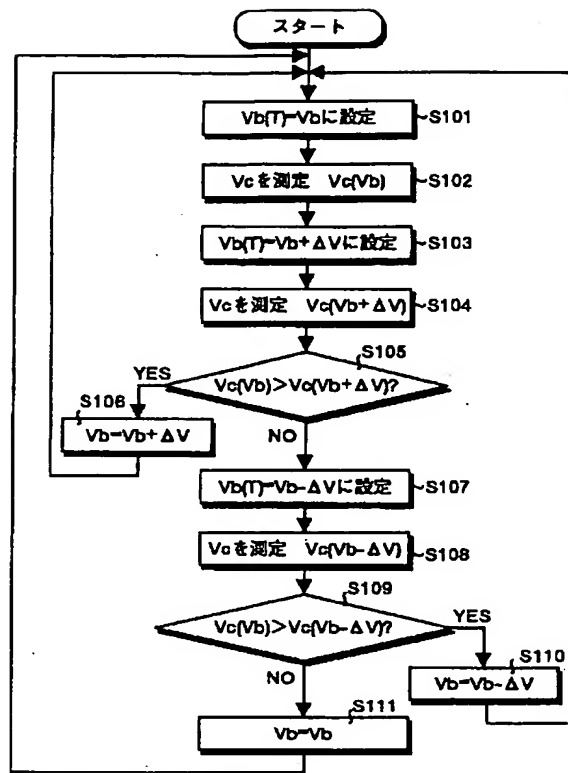
【図 3】



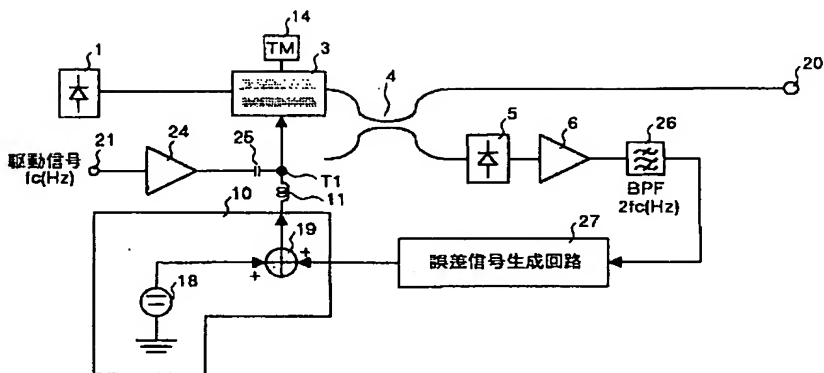
【図 4】



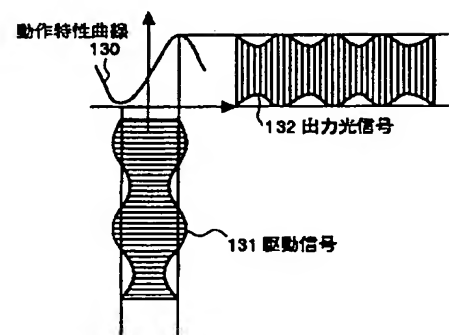
【図 6】



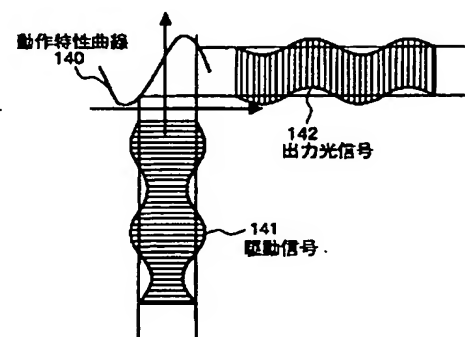
【図 7】



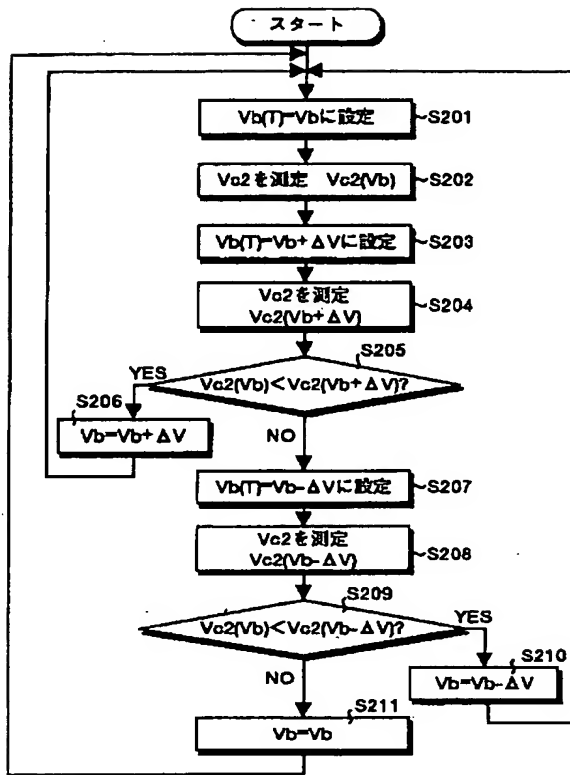
【図 13】



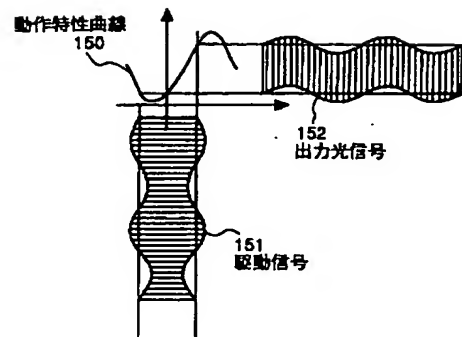
【図 14】



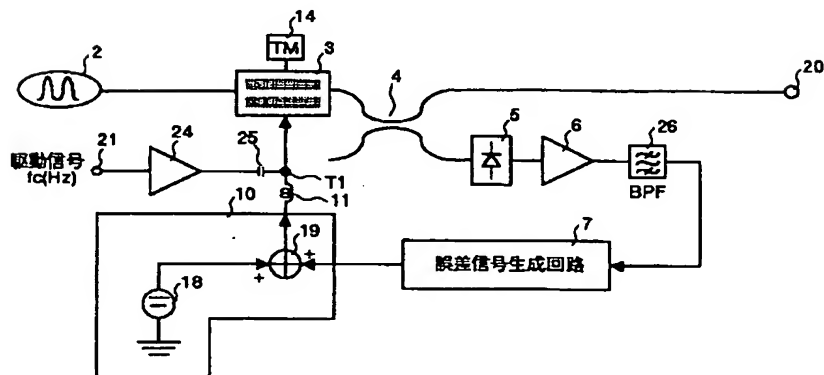
【図 8】



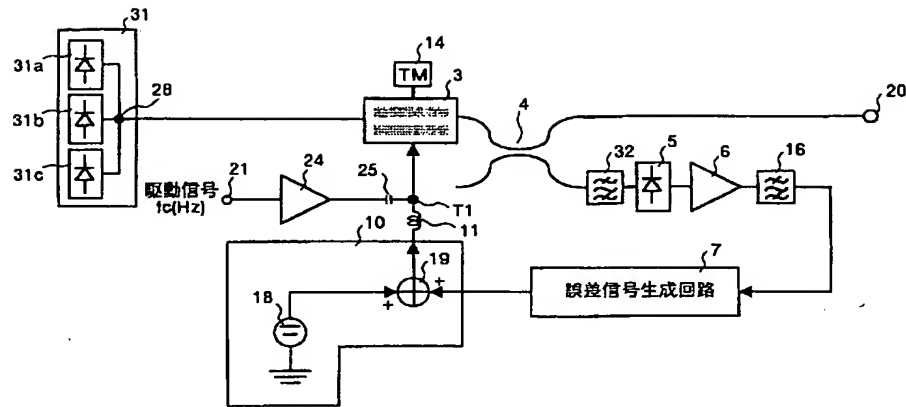
【図 15】



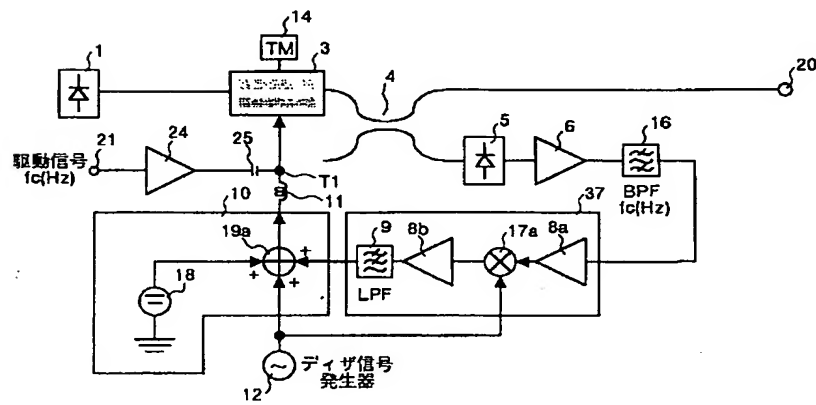
【図 9】



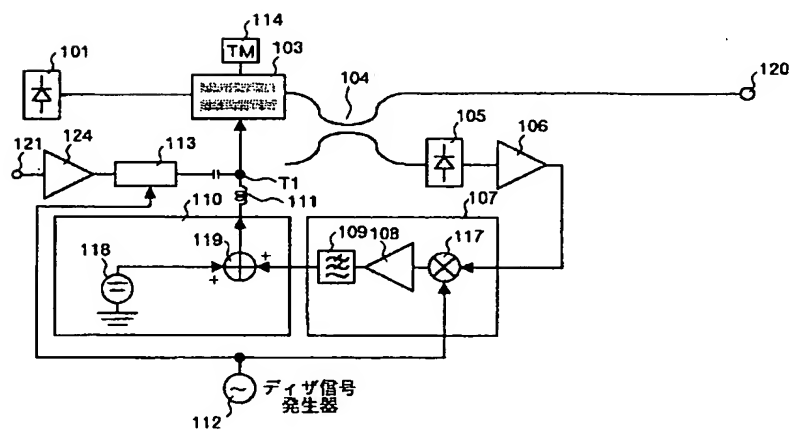
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 4 B 10/06

(72)発明者 清水 克宏

東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 小林 由紀夫

東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三

菱電機株式会社内

F ターム(参考) 2H079 AA02 AA12 BA01 DA02 FA01

FA02 FA04 HA11 KA18 KA19

5K002 AA02 BA04 BA05 BA13 CA14

DA05